



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**ELEKTRONICKÉ ŘÍDICÍ JEDNOTKY PRO 6-TI
VÁLCOVÉ VZNĚTOVÉ MOTORY**

ENGINE CONTROL UNITS FOR 6-CYLINDER DIESEL ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matej Florek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Svída, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Matej Florek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. David Svída, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Elektronické řídicí jednotky pro 6–ti válcové vznětové motory

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vznětové spalovací motory jsou zejména pro použití pro těžké dopravní prostředky stále nenahraditelné. Z důvodu snižování emisí škodlivin ve výfukových plynech ovšem musí jejich řídicí jednotky umět spolupracovat s řadou přídavných emisních systémů. Cílem je vytvořit přehled funkcí a možností současných řídicích jednotek pro vznětové 6–ti válcové spalovací motory.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat přehled všech palivových systémů a příslušenství, které musí umět současné řídicí jednotky pro vznětové motory řídit. Zpracovat přehled komerčních řídicích jednotek, které jsou k dispozici a uvést, které konkrétní palivové systémy umí řídit.

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 3rd edition. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, 1999. 641 s. ISBN 0768004950.

HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.

KÖHLER, Eduard. Verbrennungsmotoren: Motormechanik, Berechnung und Auslegung des Hubkolbenmotors. 3. verb. Aufl. Braunschweig [u.a.]: Vieweg, 2002. 548 s. ISBN 3-528-23108-4.

SKOTSKY, Alexander. Automotive engines: control, estimation, statistical detection. Berlin: Springer Verlag, 2009. 215 s. ISBN 978-3-642-00163-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práca sa zaoberá problematikou vznetrového spaľovacieho motora, jeho vznikom a historickým vývojom. Popisuje princíp fungovania 4-taktného procesu a komponenty motora. Približuje vývoj vstrekovacích systémov a popisuje jednotlivé, v súčasnosti používané konštrukčné riešenia. Následne rozoberá elektronickú riadiacu jednotku motora, jej úlohu a význam v procese vstrekovania paliva. Na záver uvádza niekoľko dostupných a v súčasnosti využívaných jednotiek riadiacich 6-valcové vznetrové motory.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

vznetrový motor, palivové systémy, Common rail, elektronická riadiaca jednotka

ABSTRACT

This thesis is focused on diesel combustion engines, their history and technical development. It describes the working principle of 4-stroke process and components of the engine. After that, it brings the overview of the fuel injection systems development and the types that are used nowadays. Then it comes to electronic control unit, its significance and role in fuel injection process. The last part indicate a couple of commercial electronic control units which are currently used for managing 6-cylinder diesel engines.

KEYWORDS

diesel engine, injector systems, Common rail, electronic control unit

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

FLOREK, M. Elektronické řídicí jednotky pro 6-ti válcové vznětové motory. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 49 s. Vedoucí diplomové práce David Svída.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Davida Svídu, Ph.D a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 24. mája 2019

.....

Matej Florek

POĎAKOVANIE

Týmto by som chcel poďakovať Ing. Davidu Svídovi, Ph.D za ochotu, čas, cenné rady a odborné usmernenie v priebehu tvorby bakalárskej práce.

OBSAH

Úvod	10
1 VZNETOVÝ MOTOR	11
1.1 Účinnosť	11
1.2 Emisie	11
1.3 História.....	11
1.3.1 Patent	12
1.3.2 Technická realizácia	12
1.3.3 Rudolf Diesel a neskorší vývoj.....	13
1.3.4 Prvé vozidlá s pohonom vznetrových motorov	13
1.4 Princíp fungovania vznetrového motoru	14
1.4.1 Štvortaktný cyklus	14
1.4.2 Načasovanie pohybu ventilov.....	16
1.4.3 Sabatov proces.....	16
1.4.4 P-V Diagram skutočného procesu	18
1.5 VÝVOJ VSTREKOVANIA	19
1.5.1 Vstrekovanie stlačeného vzduchu	19
1.5.2 Motor s predspaľovacou komorou.....	19
1.5.3 Priame vstrekovanie	20
1.5.4 Vznetrový motor s priamym vstrekováním	21
1.5.5 Začiatky vstrekovacích systémov Bosch	22
2 PALIVOVÉ SYSTÉMY	24
2.1 Systém čerpadlo-tryska (UIS = unit injector system).....	24
2.2 Systém čerpadlo-vedenie-tryska (UPS = unit pump system)	26
2.3 Systém Common rail	27
3 ELEKTRONICKÉ RIADENIE VZNETOVÝCH MOTOROV (EDC).....	32
3.1 Požiadavky	32
3.2 Elektronická riadiaca jednotka (ECU)	32
3.2.1 Operačné podmienky	33
3.2.2 Konštrukcia.....	33
3.2.3 Vstupné signály	33
3.2.4 Podmieňovanie signálu.....	34
3.2.5 Spracovanie signálu	34
3.2.6 Výstupné signály	35
4 ELEKTRONICKÉ RIADIACE JEDNOTKY	36
4.1 MS 25 Sport BOSCH.....	36

4.1.1	Popis výrobcu	36
4.1.2	Technické parametre.....	37
4.2	Commander 6D Sybele	38
4.2.1	Popis výrobcu	38
4.2.2	Technické parametre.....	39
4.3	ECU3 Liebherr.....	40
4.3.1	Popis výrobcu	40
4.3.2	Technické parametre.....	41
4.4	M142 MoTeC	42
4.4.1	Popis výrobcu	42
4.4.2	Technické parametre.....	43
4.5	Nira i7r	44
4.5.1	Popis výrobcu	44
4.5.2	Technické parametre.....	45
Záver		46

ÚVOD

Od konca 19.storočia až dodnes sme svedkami rýchleho, nepretržitého technologického vývoja vo všetkých odvetviach. V automobilovom priemysle, hlavne v oblasti vývoja motorov, sme dosiahli obdivuhodný progres, ktorý stále pokračuje. Spaľovacie motory sa stali neoddeliteľnou súčasťou mnohých priemyselných aplikácií rovnako ako našich každodenných životov. Vznetový motor je pri úžitkových vozidlách v súčasnosti stále nenahraditeľnou alternatívou. Oblíbený je ale aj v osobných automobiloch, a to hlavne v Európe.

Najdôležitejšou súčasťou vznetových motorov je vstrekovacia sústava. Vďaka prepracovaným systémom riadenia vstrekovacích mechanizmov dosahujú vznetové motory vysokú efektivitu a požadovaný výkon. V súčasných aplikáciách sa používa viac druhov palivových systémov v závislosti na konkrétnej aplikácii. Všeobecne je však najpoužívanejšou a najefektívnejšou variantou palivový systém Common rail.

V priebehu vývoja sa prirodzene zvyšovali nároky ako na efektivitu a úspornosť, tak aj na pohodlie a bezpečnosť samotných užívateľov motorových vozidiel. Z tohoto dôvodu je čím ďalej, tým viac častí automobilov elektrifikovaných. Platí to pre motor a s ním spojené súčasti súvisiace s procesom vstrekovania paliva. Pre usmerňovanie a riadenie chodu motoru za splnenia náročných noriem a požiadaviek je potrebná centrálna riadiaca jednotka, ktorá riadi a kontroluje celý systém a proces.

1 VZNETOVÝ MOTOR

Dieslový motor, nazývaný aj vznetrový motor je pomenovaný podľa Rudolfa Diesla. Je to spaľovací motor, v ktorom dochádza k vznieteniu paliva, ktoré je vstrekované do spaľovacej komory v dôsledku zvýšenej teploty vzduchu vo valci dosiahnutej mechanickou adiabatickou kompresiou. Vznetrové motory pracujú na báze stlačovania vzduchu. To zvyšuje teplotu vzduchu vo vnútri valca natoľko, že vstrekované rozprášené palivo sa spontánne vznieti. Pri vstrekaní paliva do vzduchu tesne pred spaľovaním je rozptyl paliva nerovnomerný, vzniká tak heterogénna zmes vzduchu a paliva. Proces miešania vzduchu a paliva prebieha takmer úplne počas spaľovania. Krútiaci moment, ktorý produkuje vznetrový motor je riadený pomerom vzduchu. Znamená to, že namiesto škrtenia nasávaného vzduchu sa vznetrový motor spolieha na prispôsobenie množstva vstrekovanej paliva a pomer vzduchu je zvyčajne vysoký.

Vznetrové motory môžu fungovať ako dvojtaktné alebo štvortaktné, pričom vo vozidlách sa používajú štvortaktové konštrukcie. [1]

1.1 Účinnosť

Vznetrový motor má najvyššiu tepelnú účinnosť spomedzi všetkých motorov s vnútorným alebo vonkajším spaľovaním v dôsledku veľmi vysokého expanzného pomeru a spaľovania. Vyššia účinnosť je taktiež dosiahnutá tým, že sa palivo vstrekuje až pri zavretých ventiloch, a preto žiadne palivo neprejde priamo zo vstrekovania do výfuku.

Nízkorýchlostné vznetrové motory používané v lodiach a iných aplikáciách, kde nie je hmotnosť motora relatívne dôležitá, môžu dosiahnuť efektívnu účinnosť až 55%. [2]

1.2 Emisie

Vznetrové motory sú vhodné na zavedenie turbodúchadla a kompresora. Táto skutočnosť nielen zlepšuje poskytovaný výkon a efektívnosť, ale taktiež znižuje znečisťujúce emisie a hluk spôsobovaný pri vznietení.

V záujme redukcie NO_x emisií v autách a úžitkových vozidlách je časť výfukových plynov privádzaná späť do rozdeľovača prívodu motora (recirkulácia výfukových plynov). Ešte značnejšie zníženie NO_x emisií môže byť dosiahnuté chladením výfukových plynov, ktoré sú opätovne v obehu. [1]

1.3 História

Dieslový motor nesie meno po jeho vynálezcovi Robertovi Dieselovi. Dieselovým cieľom bolo navrhnúť motor, so značne lepšou efektívnosťou ako parný stroj, ktorý bol stále najpoužívanejší aj na konci 19. storočia. Motor založený na izotermickom cykle, ktorý by mal podľa teórie francúzskeho fyzika Sadi Carnota, byť schopný pracovať s obrovskou efektívnosťou až cez 90%. Diesel navrhol jeho motor spočiatku teoreticky podľa Carnotovho modelu. Zameral sa na návrh výkonného motoru s pomerne malými rozmermi. Diesel si bol úplne istý funkčnosťou a výkonom jeho motora. [1]

1.3.1 Patent

Diesel dokončil jeho teoretický výskum v roku 1890 a 27. februára 1892 požiadal cisársky patentový úrad v Berlíne o patent s názvom „nový racionálny tepelný motor“. O rok na to obdržal patent s označením DRP 67207 „Operačný proces a typy konštrukcie pre spaľovacie motory“.

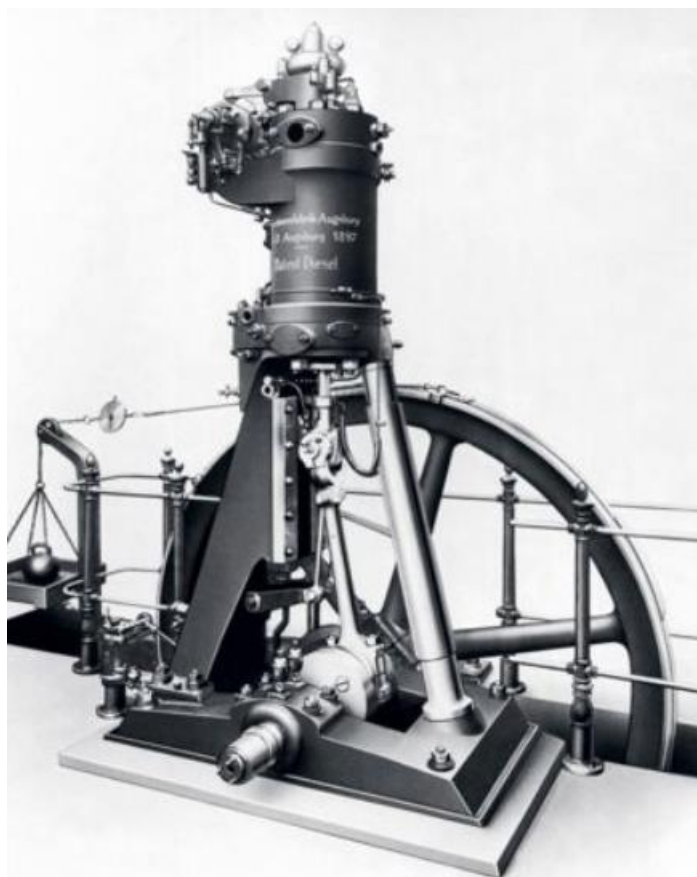
Nový motor spočiatku existoval len na papieri. Správnosť Dieslových výpočtov bola opakovane overená, ale výrobcovia motorov ostávali skeptickí voči jeho technickej realizovateľnosti. [1]

1.3.2 Technická realizácia

Firmy zaoberajúce sa výrobou motorov, ako Gasmotoren-Fabrik Deutz AG, sa vyhýbali Dieselovmu projektu. Požadovaný tlak pri stlačení veľkosti 250 barov bol za hranicou technickej realizovateľnosti. V roku 1893, po mnohých mesiacoch úsilia Diesel nakoniec uzavrel dohodu o spolupráci s Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN). Napriek tomu, dohoda obsahovala ústupky z Dieslovej strany. Maximálny tlak bol znížený z 250 na 90 a neskôr na 30 barov. Toto zníženie požadované z mechanických dôvodov malo prirodzene nežiadúci efekt na spaľovanie.

Nakoniec, na jar v roku 1893 MAN začal konštruovať prvý nechladený testovací motor. Spočiatku bol predpokladaným palivom petrolej, ale použitý bol benzín z dôvodu jednoduchšieho samovznietenia. V tomto motore sa potvrdil princíp samovznietenia paliva v stlačenom horúcom vzduchu pri vysokej kompresii. V druhom testovacom motore palivo nebolo vstrekané priamo, ale s prídavkom stlačeného vzduchu. Motor bol navyše vybavený vodným chladiacim systémom.

Prevrat nastal až pri treťom skúšobnom type motoru. Bol navrhnutý s jednostupňovou vzdušnou pumpou na vstrekovanie stlačeného vzduchu. 17. februára v roku 1897, uskutočnil profesor Moritz Schroder z Mníchovskej Technickej Univerzity testy. Výsledkom testov bolo potvrdenie vysokej efektivity spaľovacieho motora 26,2%. [1]



Obr.1 Tretí prototyp Dieslovho motora z roku 1897 [3]

1.3.3 Rudolf Diesel a neskorší vývoj

Vývoj Dieslovho vynálezu potreboval viac času a práce, aby sa stal úspešným v komerčnej sfére. Mnohí inžinieri a vývojári sa pripojili k práci na zlepšení životaschopnosti trhu vytvorenou na myšlienke Rudolfa Diesla. Na druhej strane sa samotný Diesel stal ohrozený týmto procesom a nebol schopný nájsť spoločnú reč s ostatnými konštruktérmi, ktorí vyvíjali jeho vynález. Dieslove pokusy o podporu trhu s motorom, ktorý ešte nebol vyvinutý do uspokojivej miery, nakoniec viedli k nervovému zrúteniu. V roku 1913 hlboko znepokojený kritikou jeho osobnosti v roli vývoju motoru pravdepodobne spáchal samovraždu pri ceste loďou cez La Manche. [3]

1.3.4 Prvé vozidlá s pohonom vznetrových motorov

Kvôli vysokému tlaku vo valcoch, boli prvé motory objemné a veľmi ťažké. Z tohto dôvodu neboli vhodné na aplikáciu do samotných vozidiel. Až do dvadsiatych rokov 20. storočia, kedy bol prvý motor použitý v komerčnom vozidle.

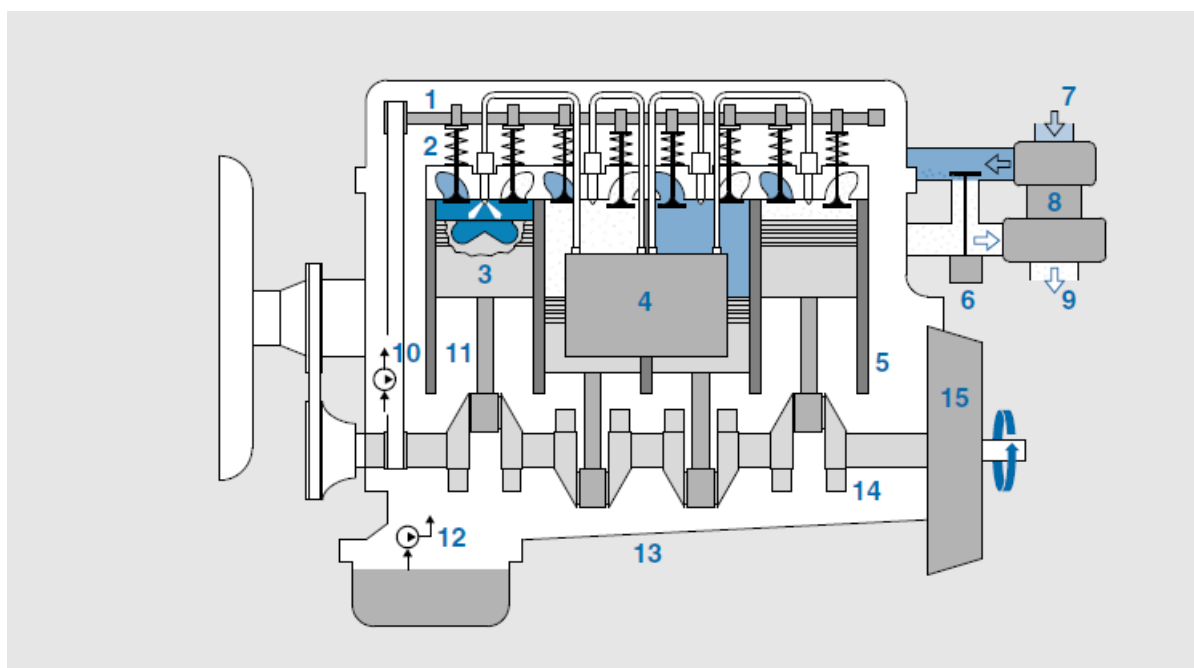
Nepretržite, aj napriek prvej svetovej vojne, Prosper L'Orange, člen výkonného výboru spoločnosti Benz&Cie, pokračoval vo svojom vývoji motora. V roku 1923 bol aplikovaný prvý motor pre cestné vozidlá, konkrétne 5 tonové nákladné autá. Tieto štvorvalcové motory s predspaľovacou komorou s objemom 8,8 litra, poskytovali výkon 45-50 koní. Ako palivo

bol využívaný hnedý uhoľný decht, ktorého spotreba bola o 25% nižšia ako u motorov používajúcich benzén, navyše bol značne lacnejší. [1]

1.4 Princíp fungovania vznetového motoru

Vznetový motor obsahuje jeden alebo viac valcov. Je poháňaný spaľovaním zmesi paliva a vzduchu. Piest v každom valci vykonáva pohyby nahor a nadol. Tento spôsob fungovania je dôvod, pre ktorý bol nazvaný „motor s vratným piestom“.

Spojovacia tyč alebo ojnica, prevádza lineárny vratný pohyb piestu na rotačný pohyb časti kľukového hriadeľa. Zotrvačník spojený s koncom kľukového hriadeľa pomáha zotrvať hriadeľu v konštantnom rotačnom pohybe a redukuje nepravidelnosti v rotácii spôsobené prirodzeným procesom spaľovania paliva v jednotlivých valcoch. Rýchlosť rotácie kľukového hriadeľa je tiež označovaná ako otáčky motora. [1]



Obr.2 Konštrukcia 4-taktného motoru [1]

1-vačkový hriadeľ, 2-ventily, 3-piest, 4-systém vstrekovania paliva- 5-valec, 6-recykulácia výfukových plynov, 7-sacie potrubie, 8-turbodúchadlo, 9-výfuková rúra, 10-chladiaci systém, 11-ojnica, 12-mazací systém, 13-blok motora, 14-kľukový hriadeľ, 15-zotrvačník

1.4.1 Štvortaktný cyklus

V štvortaktnom vznetovom motore ventily nasávania a výfuku kontrolujú prívod vzduchu a explóziu horiacich plynov po stlačení. Otvárajú a uzatvárajú prívodový a výfukový kanál. Každý prívodový a výfukový kanál má jeden alebo dva ventily.

1. Nasávanie

Začínajúce na úrovni hornej úvrate, piest sa pohybuje smerom nadol a zvyšuje kapacitu valca. Zároveň je otvorený sací ventil a vzduch je nasávaný do vnútra valca

bez obmedzenia škrtiacej klapky. Keď piest dosiahne dolnú úvrať, objem valca je najväčší.

2. Stláčanie

V tejto fáze sú oba ventily, sací aj výfukový, zavreté. Piest sa pohybuje nahor a stláča vzduch umiestnený vo vnútri valca až do úrovne predurčenej kompresným pomerom (pohybuje sa od 6:1 vo veľkoobjemových motoroch až po 16:1 v automobiloch). Počas tohto procesu sa teplota vzduchu dostáva až na hodnotu 900°C. Keď je stláčanie takmer ukončené, systém vstrekovania paliva vstrekuje palivo o vysokom tlaku (v moderných motoroch až 3000 barov) do horúceho stlačeného vzduchu. Keď piest dosiahne hornú úvrať, kapacita valca je minimálna.

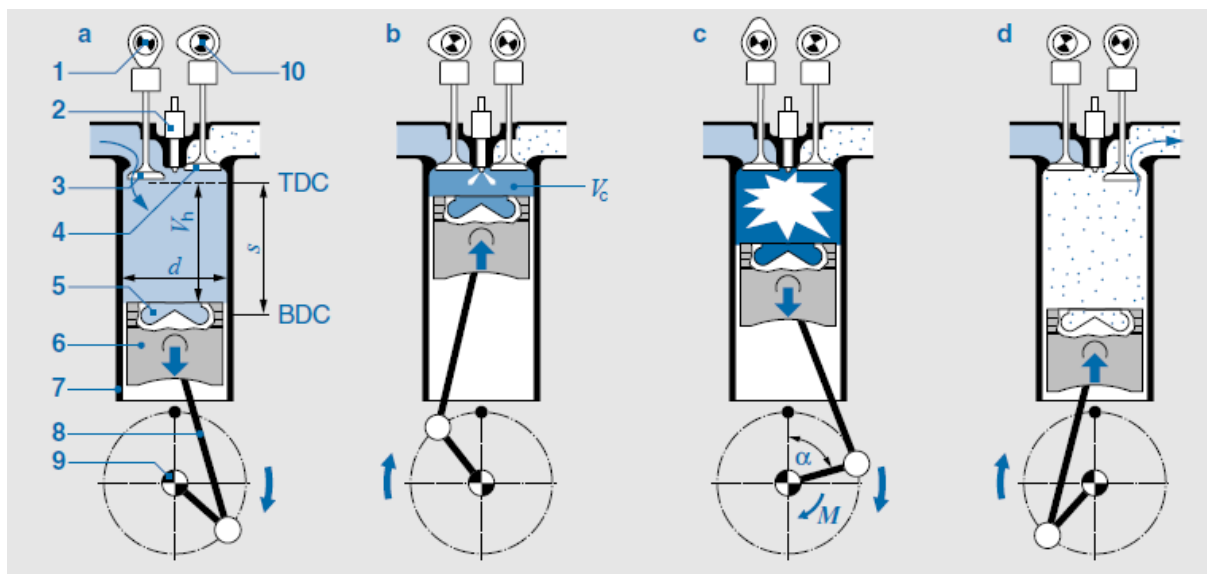
3. Vznietenie

Po uplynutí stláčania (niekoľko stupňov rotácie kľukového hriadeľa), začína rozpínanie (pracovný cyklus). Jemne rozprášené a ľahko spaľovateľné palivo sa spontánne vznecuje a horí v dôsledku vysokej teploty stlačeného vzduchu v spaľovacej komore. Výsledkom je, že sa zvyšuje teplota náplne ako aj tlak vo valci. Množstvo energie uvoľnenej pri spaľovaní je dané množstvom vstrekaného paliva. Tlak posúva piest smerom nadol. Chemická energia uvoľnená pri spaľovaní je teda konvertovaná na kinetickú energiu. Disk kľukového hriadeľa transformuje kinetickú energiu piestu na krútiaci moment.

4. Výfuk

Nepatrne predtým ako piest dosiahnu dolnú úvrať, sa otvára výfukový ventil. Horúce stlačené plyny prúdia von z valca. Keď sa piest pohybuje znova nahor, tlačí zvyšné výfukové plyny von.

Počas jedného kompletného cyklu, spravil kľukový hriadeľ dve otáčky a štvortaktný cyklus začína znovu nasávacou fázou. [1]



Obr.3 Priebeh 4-taktného cyklu vo valci [1]

a-nasávanie, b-stláčanie, c-explózia, d-výfuk, 1-vačkový hriadel' vstupných ventilov, 2-vstrekoč paliva, 3-vstupný ventil, 4-výfukový ventil, 5-spaľovacia komora, 6-piest, 7-stena valca, 8-ojnica, 9-kľukový hriadel', 10-vačkový hriadel' výfukových ventilov, α -uhol rotácie kľukového hriadeľa, d -vnútorný priemer, M -krútiaci moment, s -zdvih piestu, V_c -objem pri stlačení, V_h -objem pri nasávaní, TDC-horná úvrat', BDC-dolná úvrat'

1.4.2 Načasovanie pohybu ventilov

Vačky na sacom a výfukovom vačkovom hriadeli otvárajú a zatvárajú sací a výfukový ventil jednotlivo. V motoroch s jedným vačkovým hriadeľom, prenáša pohyb vačiek na ventily vahadlo.

Načasovanie pohybu ventilov zahŕňa synchronizované otváranie a zatváranie ventilov počas rotácie kľukového hriadeľa. Z toho dôvodu je pohyb ventilov špecifikovaný v stupňoch rotácie kľukového hriadeľa.

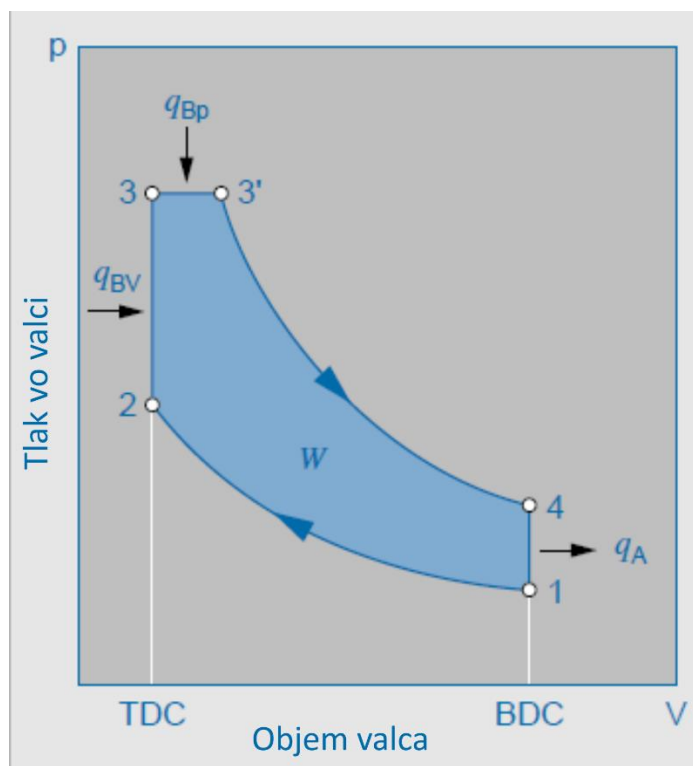
Kľukový hriadel' poháňa vačkový hriadel' prostredníctvom klinového remeňa alebo reťaze, niekedy pomocou viacerých ozubených kolies. V štvortaktnom motore zaberá celý cyklus dve otočenia kľukového hriadeľa. Preto je rýchlosť otáčania vačkového hriadeľa polovičná (prevodový pomer medzi kľukovým a vačkovým hriadeľom je teda 2:1).

Pri zmene z výfuku na nasávanie sú istý čas sací aj výfukový ventil otvorené naraz. Toto „prekrytie ventilov“ pomáha odstrániť zvyšujúce výfukové plyny a chladiť valec. [1]

1.4.3 Sabatov proces

Sabatov proces popisuje teoretickú účinnosť za ideálnych podmienok. Tento ideálny proces funguje za nasledujúcich predpokladov :

- ideálny plyn ako pracovné médium
- plyn s konštantnou špecifickou tepelnou kapacitou
- žiadne straty prúdu vzduchu počas procesu



Obr.4 p-V diagram Sabatovho procesu [1]

TDC-horná úvrať, BDC-dolná úvrať, q_A -množstvo tepla rozptýleného počas výmeny plynu, q_{BP} -spalovacie teplo pri konštantnom tlaku, q_{BV} -spalovacie teplo pri konštantnom objeme, W -teoretická práca

Stav pracovného plynu môže byť popísaný špecifickým tlakom (p) a objemom (V). Zmeny stavu sú zobrazené v p-V diagrame, kde uzavretá oblasť zodpovedá práci vykonanej počas cyklu.

Sabatov cyklus zahŕňa nasledujúce fázy :

1. *Izoentropická kompresia (1-2)*

Počas izoentropickej kompresie (kompresia za konštantnej entropie, inak adiabatická kompresia, t.j. bez prenosu tepla), sa zvyšuje tlak vo valci zatiaľ čo sa znižuje objem plynu.

2. *Izochorická kompresia (2-3)*

Zmes vzduchu a paliva začína horieť. Šírenie tepla (q_{BV}) prebieha za konštantného objemu. Zvyšuje sa aj tlak plynu.

3. *Izobarická expanzia (3-3')*

Ďalšie šírenie tepla (q_{BP}) sa deje počas konštantného tlaku zatiaľ čo sa piest pohybuje nadol a zvyšuje sa objem plynu.

4. *Izoentropická expanzia (3'-4)*

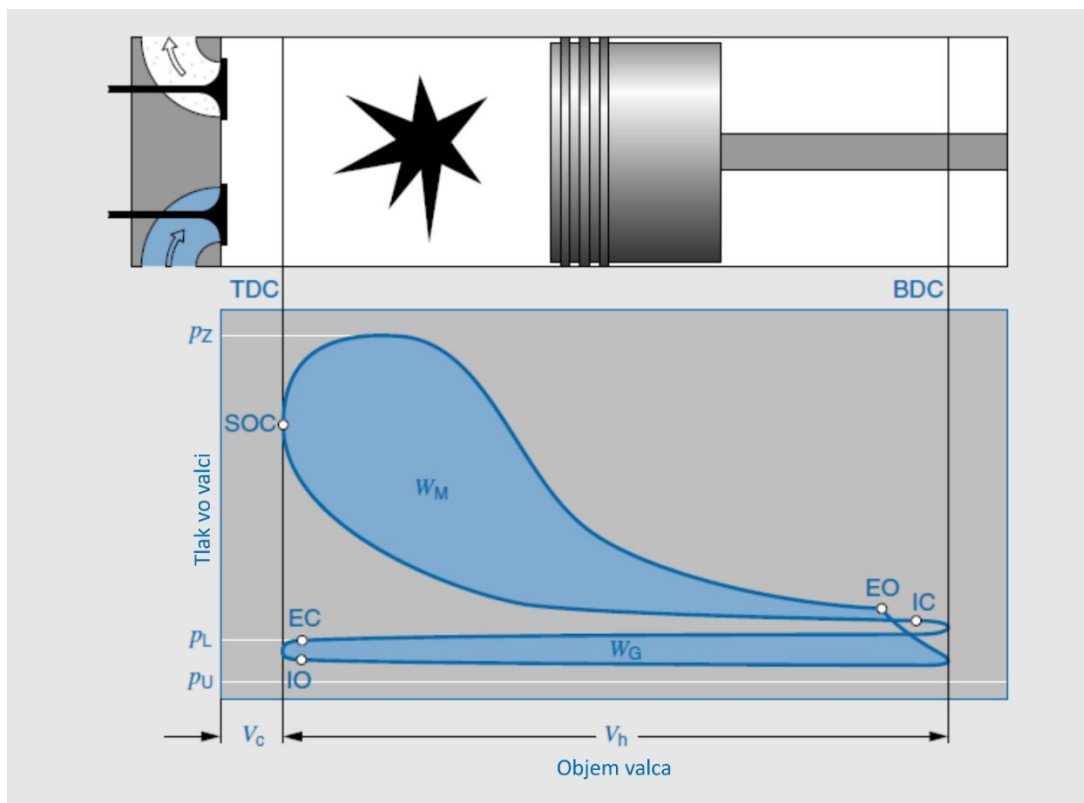
Piest pokračuje nadol, k dolnej úvrať. Neprebíha už žiadne šírenie tepla. Tlak výrazne klesá za zväčšovania objemu.

5. *Izochorická expanzia (4-1)*

Počas procesu výmeny plynu je zostatkové teplo (q_A) odstránené. Toto sa deje počas stáleho objemu plynu. Opäť nastáva počiatočná situácia a začína nový cyklus.

1.4.4 P-V Diagram skutočného procesu

Na určenie vykonanej práce počas reálneho procesu je nameraná krivka tlaku zobrazená v p-V diagrame. Priestor ohraničený hornou krivkou korešponduje s prácou vykonanou piestom. [1]



Obr.5 p-V diagram skutočného procesu [1]

EO-otvorenie výfuku, EC-zatvorenie výfuku, SOC-začiatok spaľovania, IO-otvorenie sacieho ventilu, IC-zatvorenie sacieho ventilu, TDC-horná úvrať, BDC-dolná úvrať, p_U -tlak okolia, p_L -tlak plniaceho vzduchu, p_Z -maximálny tlak vo valci, V_c -kompresný objem, V_h -pracovný objem, W_M -práca počas spaľovania, W_G -práca počas výmeny plynov

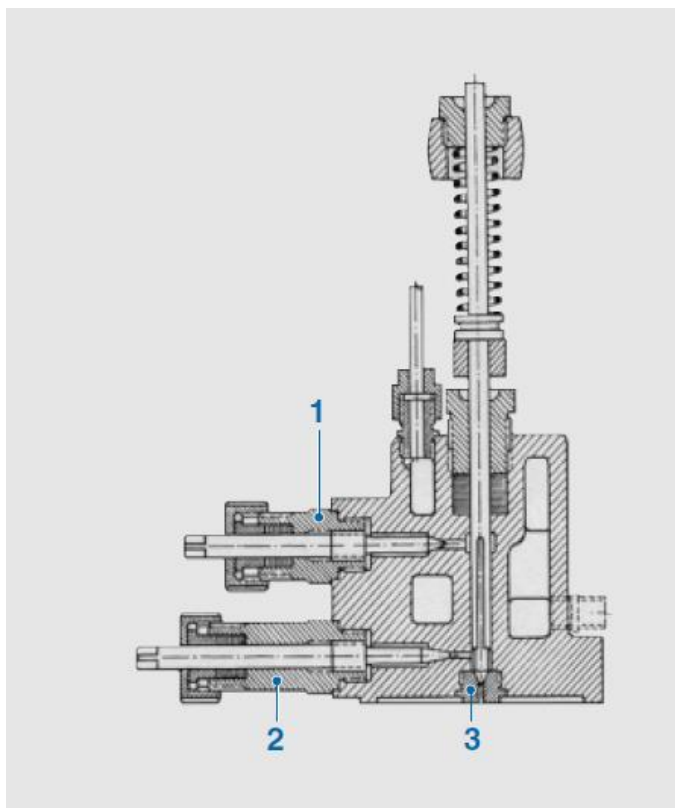
1.5 VÝVOJ VSTREKOVANIA

1.5.1 Vstrekovanie stlačeného vzduchu

Prvý vznetový motor z roku 1897 pracoval na základe vstrekovania stlačeného vzduchu, čo znamená, že palivo bolo privedené do valca s prídavkom stlačeného vzduchu.

Vstrekovač paliva mal samostatný prívod stlačeného vzduchu a prívod paliva. Kompresor generoval stlačený vzduch, ktorý prúdil do ventilu. Keď bola tryska otvorená, vzduch expandoval do spaľovacej komory spolu s palivom. V tomto dvojfázovom prúde vznikali jemné kvapôčky potrebné pre rýchle odparovanie, a tak aj samovznietenie. Vačka zabezpečila, že tryska bola synchronizovaná s kľukovým hriadeľom. Množstvo paliva, ktoré malo byť vstrekané, bolo kontrolované tlakom.

Problém tohto procesu bol nízky tlak v tryske, čo viedlo k slabému preniknutiu zmesi vzduchu a paliva do spaľovacej komory. Tento typ zmesi tým pádom nebol vhodný pre väčšie množstvá vstrekaného paliva (väčšie zaťaženie a výkon motora). Napriek tomu, bol tento typ motora v tej dobe používaný v nákladných vozidlách. [1]



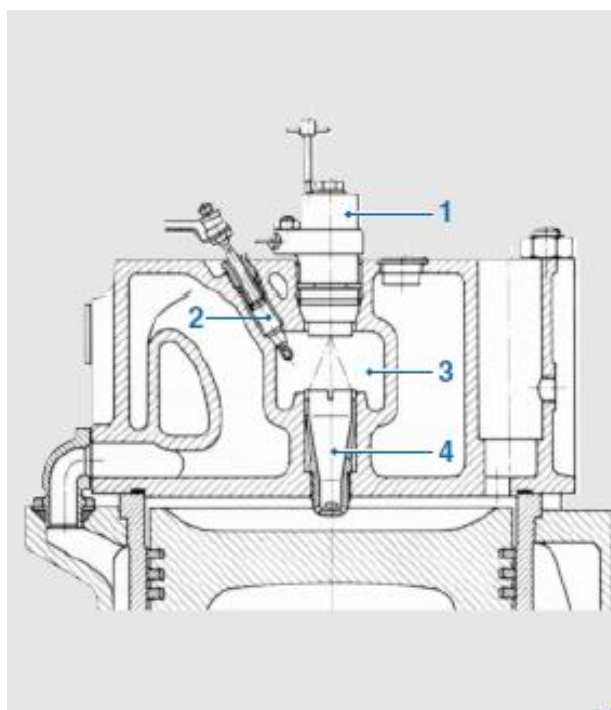
Obr.6 Vstrekovač paliva pre vstrekovanie stlačeným vzduchom z roku 1895 [1]

1-prívod stlačeného vzduchu, 2-prívod paliva, 3-tryska

1.5.2 Motor s predspaľovacou komorou

Vďaka princípu predspaľovacej komory bolo možné vyriešiť komplikovaný a drahý systém vzdušného vstrekovania. Zloženie zmesi v hlavnej spaľovacej komore v tomto procese, ktorý sa využíva dodnes, je zabezpečené čiastočným spaľovaním v predspaľovacej komore. Tento druh motora má špeciálne tvarovanú spaľovaciu komoru s polgulovou hlavou. Spaľovacia

a predspaľovacia komora sú spojené malými otvormi. Objem spaľovacej komory je oproti predspaľovacej komore 5-násobný. Celé množstvo paliva o tlaku 230-250 barov je vstrekané do predspaľovacej komory. Kvôli limitovanému množstvu vzduchu v predspaľovacej komore je možné len čiastočné spaľovanie paliva. Výsledkom nárastu tlaku spôsobeného čiastočným spaľovaním je nevznietené palivo tlačené do hlavnej spaľovacej komory, kde sa zmes mieša so vzduchom, vznecuje sa a exploduje. Funkcia predspaľovacej komory je formovanie zmesi. Tento proces je tiež známy ako „nepriame vstrekovanie“, ktoré bolo konečne aplikovateľné a využívané ako prioritný proces až do vyvinutia palivového vstrekovania, pri ktorom je možné dopraviť vstrekovací tlak potrebný pre tvorbu zmesi do hlavnej spaľovacej komory. [1]

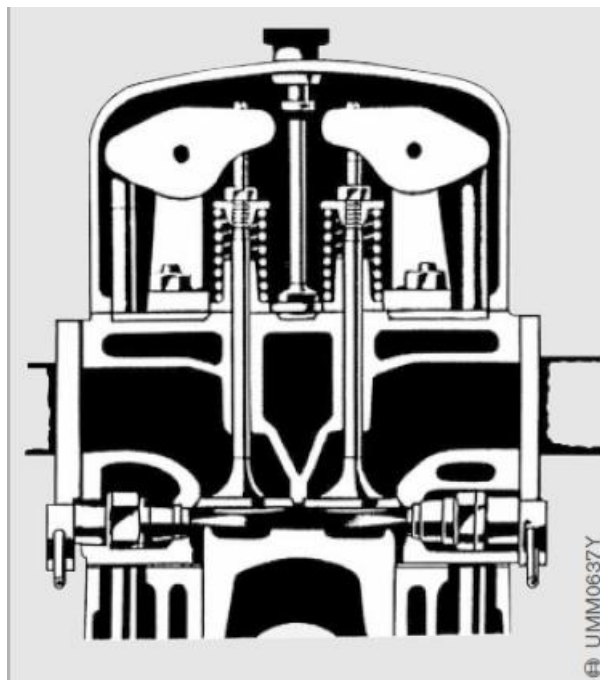


Obr.7 Princíp motoru s predspaľovacou komorou [1]

1-palivový ventil, 2-žhaviace vlákno pre hriatie predspaľovacej komory, 3-predspaľovacia komora, 4-zapaľovanie

1.5.3 Priame vstrekovanie

Prvý motor založený na priamom vstrekaní bol skonštruovaný firmou MAN. Palivo bolo vstrekané priamo do spaľovacej komory prostredníctvom trysky. Tento motor využíval ako palivo veľmi ľahký olej, ktorý bol tlačný kompresorom do spaľovacej komory. Značná veľkosť motora bola zapríčinená veľkosťou samotného kompresoru. [1]

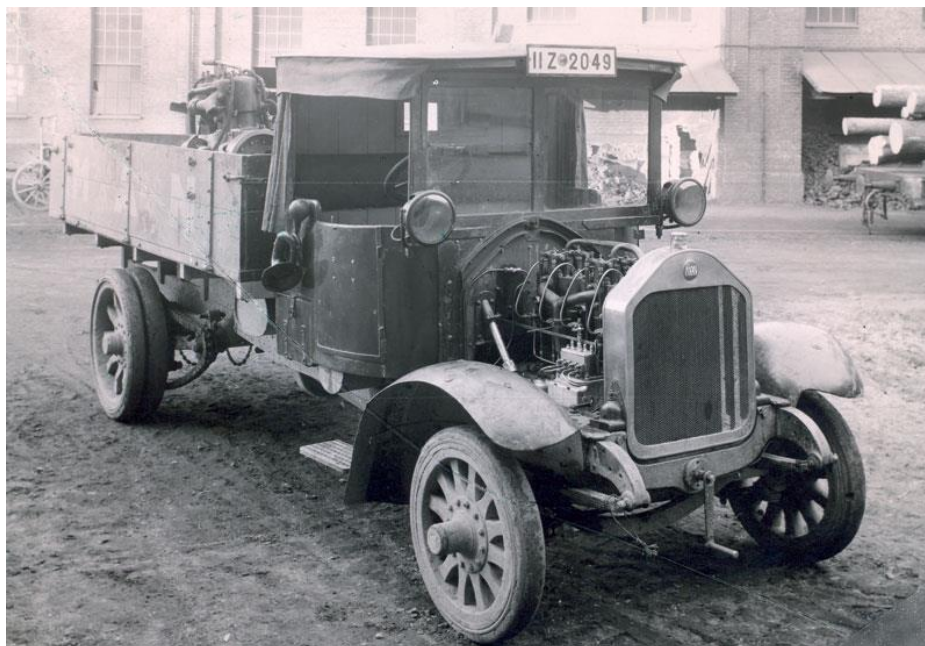


Obr.8 Prvý vznetový motor s priamym vstrekováním použitý vo vozidle (MAN, 1924) [1]

1.5.4 Vznetový motor s priamym vstrekováním

Dňa 12. marca 1924 inžinieri Sturm a Wiebicke z firmy man MAN uskutočnili prvú testovaciu jazdu z továrne v Augsburgu do Norimbergu v nákladnom vozidle Saurer. Štvortonové nákladné vozidlo bolo poháňané experimentálnym dieselovým motorom, ktorý prvýkrát vstrekoval palivo priamo do štyroch valcov.

S dostupným výkonom približne 40 koní sa testujúcim vodičom podarilo dokončiť 140 kilometrovú cestu za päť a pol hodiny. Táto úspešná jazda bola krst ohňom pre technológiu, ktorá umožnila, aby bol ekonomický dieselový motor skonštruovaný dostatočne kompaktne pre prvé použitie v motorových vozidlách. [4]

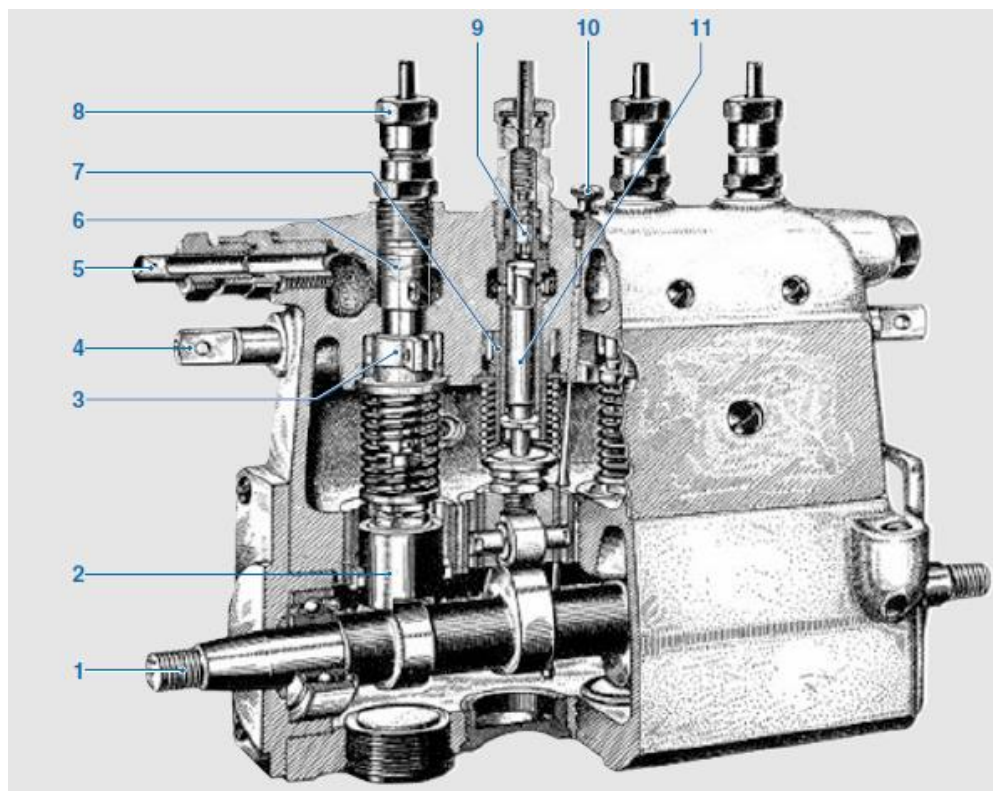


Obr.9 Prvý automobil s motorom s priamym vstrekováním, MAN 1924 [4]

1.5.5 Začiatky vstrekovacích systémov Bosch

Bosch začal testovať prvé prototypy vstrekovacieho čerpadla v roku 1923. V marci 1927, bolo vyrobených niekoľko prvotných vzoriek, ktoré boli doručené výrobcom motorov na testovanie. Pozitívny výsledok týchto testov priniesol obrovský záujem, čo znamenalo začiatok sériovej výroby prvých vstrekovacích čerpadiel.

MAN bola prvá spoločnosť, ktorá zaviedla nový vstrekovací systém do ich nákladných vozidiel. Následne dostal vývoj nové obrátky. V októbri 1928, Bosch vyrobil tisíce kus vstrekovacieho čerpadla. V roku 1934 ich bolo vyrobených už 100 000. [5]



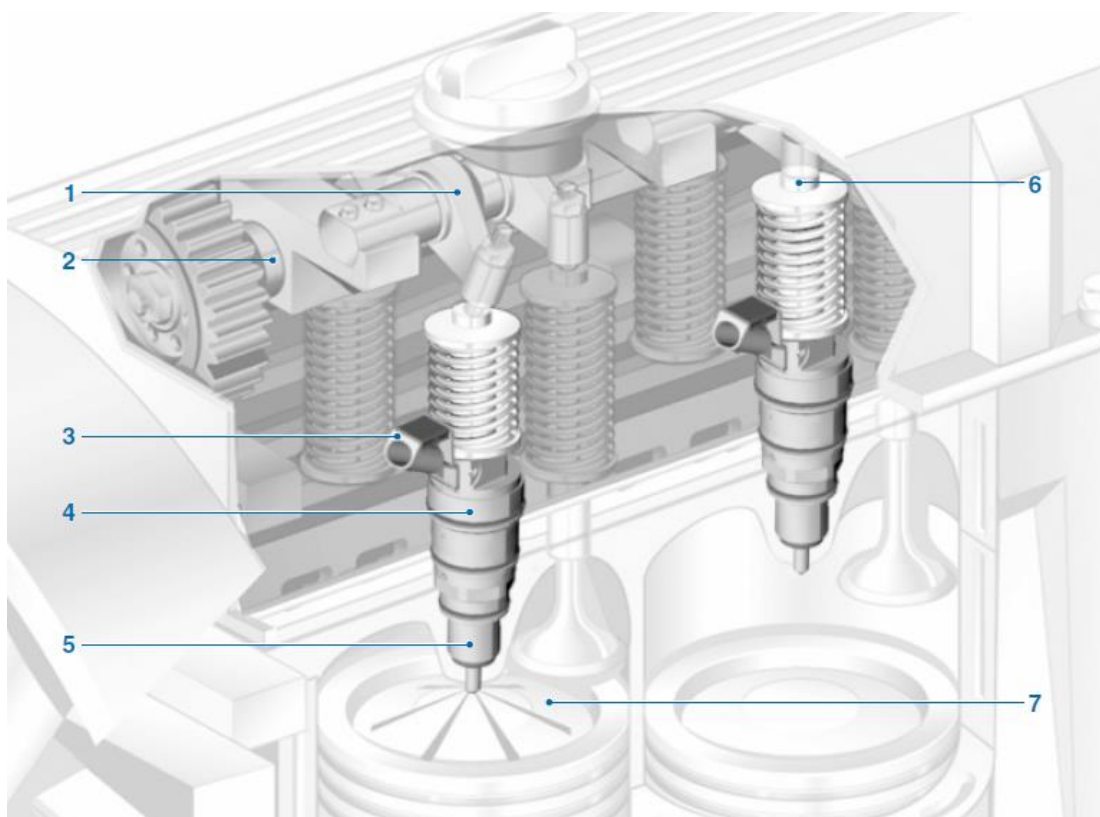
Obr.10 Prvé sériovo vyrábané vstrekovacie čerpadlo od firmy Bosch, 1927 [1]

1-vačkový hriadeľ, 2-zdvíhacia kladka, 3-kontrolná objímka, 4-kontrolný stojan, 5-vstup paliva, 6-valec čerpadla, 7-kontrolné puzdro, 8-port tlakového potrubia, 9-dávkovací ventil s piestom, 10-meradlo hladina oleja, 11-piest čerpadla

2 PALIVOVÉ SYSTÉMY

2.1 Systém čerpadlo-tryska (UIS = unit injector system)

V systéme čerpadlo-tryska tvoria vstrekovacie čerpadlo paliva, vysokotlakový elektromagnetický ventil a vstrekovacia tryska jeden celok. Kompaktná konštrukcia s veľmi krátkymi vysokotlakovými rozvodmi integrovanými v časti medzi čerpadlom a tryskou zabezpečuje jednoduchší prívod vyššieho vstrekovacieho tlaku, v porovnaní s ostatnými vstrekovacími palivovými systémami vďaka stlačenému objemu, následkom čoho sú straty menšie. Najvyšší tlak v systémoch UIS v súčasnosti závisí na čerpadle, pohybuje sa v rozmedzí 1800 – 2200 barov.



Obr.11 Palivový systém čerpadlo-tryska [1]

1-vahadlo, 2-vačkový hriadel', 3-prípojka paliva, 4-vstrekovač, 5-vstrekovacia tryska, 6-piest čerpadla, 7-spaľovacia komora motoru

Každý valec má vlastný vstrekovač (UI), ktorý je zavedený priamo do valcovej hlavy. V osobných automobiloch sa používajú dva typy samostatných vstrekovačov (UI-1, UI-2), ktoré majú rovnakú funkciu, ale líšia sa vo veľkosti. V dvojventilovom motore je vstrekovač UI-1 zabezpečený upínacím blokom pod uhlom približne 20° v hlave valcu. V štvorventilovom motore je menší vstrekovač UI-2 použitý z dôvodu menšieho priestoru. Je zabezpečený vertikálne v hlave valca skrutkami.

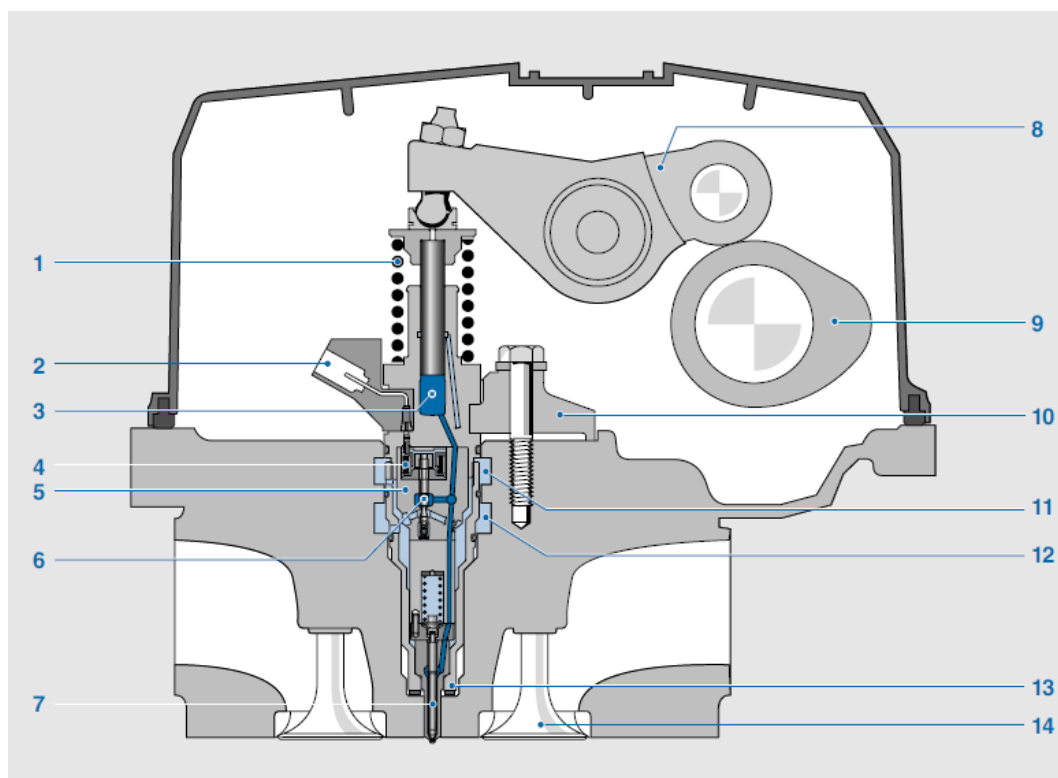
Vačkový hriadel' má ovládacie vačky pre každý vstrekovač. Jednotlivé vačky tlačia na piest čerpadla prostredníctvom vahadla. Vstrekovacia krivka je ovplyvnená tvarom ovládacích vačiek. Sú tvarované tak, aby sa ventil čerpadla pohyboval pomalšie, keď je nasávané palivo

(pohyb nahor) a rýchlejšie počas vstrekovania (pohyb nadol) za účelom zabrániť nasávaniu nežiadúceho vzduchu a dosiahnuť vysokú rýchlosť prívodu. Torzné vibrácie sa vo vačkovom hriadeľi indukujú vplyvom síl počas procesu. Nepriaznivo vplývajú na vlastnosti vstrekovania a dávkovanie vstrekovanej paliva. Je teda nevyhnutné redukovať tieto vibrácie. Za účelom redukcie vibrácií sú individuálne pohony čerpadiel navrhnuté s čo najtuhšou konštrukciou (týka sa pohonu vačkového hriadeľu, samotného vačkového hriadeľa, vahadla a ložísk vahadla). Vstrekovacia jednotka je situovaná v hlave valca a preto je vystavená vysokým teplotám. Je chladená relatívne studeným palivom prúdiacim do častí s nižším tlakom.

Palivo je do vstrekovacej jednotky privádzané prostredníctvom zhruba 500 laserom vytvorených otvorov v oceľovom rukáve vstrekovávača. Palivo je filtrované priechodmi, ktoré majú priemer menší ako 0,1 mm. Telo vstrekovacej jednotky zároveň slúži ako komora čerpadla. Tryska je zavedená v ihle vstrekovacej jednotky. Ihla a telo sú navzájom spojené pridržiavacou maticou.

Návratová pružina tlačí piest čerpadla proti vahadlu a vahadlo proti ovládaciemu hriadeľu. To zaisťuje, že ventil čerpadla, vahadlo a vačka sú vždy vo vzájomnom kontakte počas celého procesu.

Vo vstrekovacej jednotke pre úžitkové vozidlá je elektromagnetický ventil integrovaný vo vstrekováči. Vo vstrekovacej jednotke pre osobné automobily je ale situovaný externe, na tele čerpadla v dôsledku menších rozmerov vstrekovávača. [1]

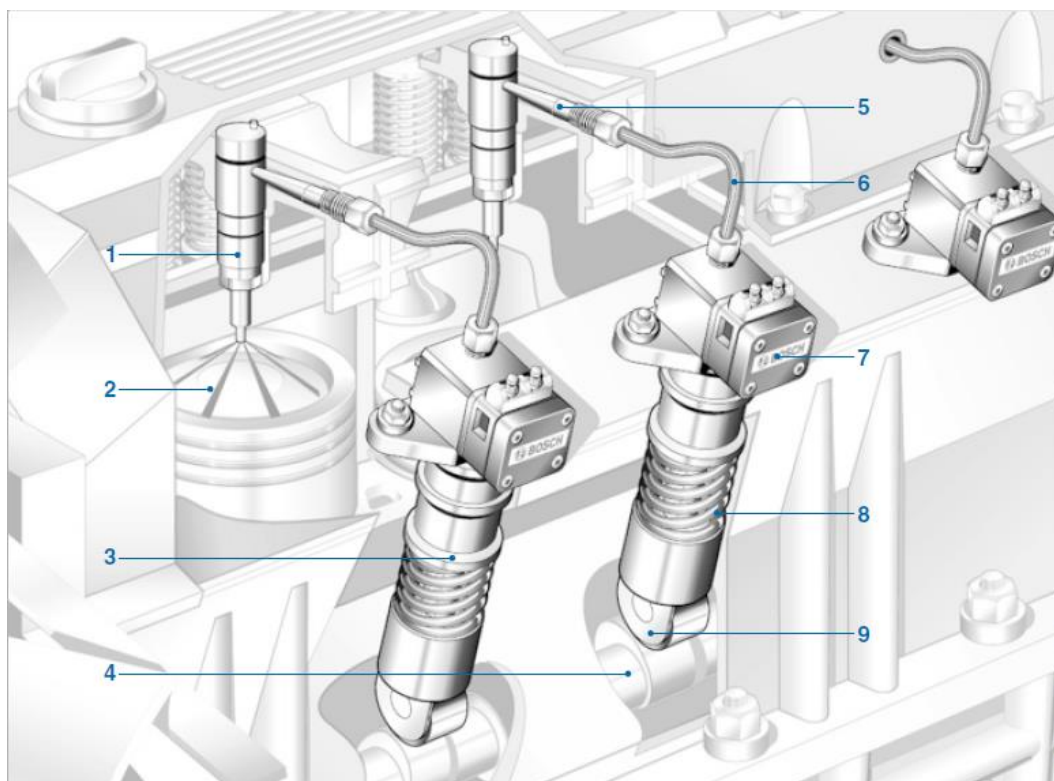


Obr.12 Zavedenie UIS v hlave valcu v úžitkovom vozidle [1]

1-vratná pružina, 2-prívod paliva, 3-vysokotlaková komora, 4-elektromagnetická cievka, 5-telo elektromagnetického ventilu, 6-ihla elektromagnetického ventilu, 7-vstrekovacia tryska, 8-vahadlo, 9-vačka, 10-upínací prvok, 11-návrat paliva, 12-prívod paliva, 13-pridržiavacia matica, 14-ventil

2.2 Systém čerpadlo-vedenie-tryska (UPS = unit pump system)

Systém čerpadlo-vedenie-tryska je používaný v úžitkových vozidlách a v motoroch s väčším objemom. Na rozdiel od systémov UIS, je tryska oddelená od vstrekovača a ich spojenie zabezpečuje krátke potrubie.



Obr.13 Palivový systém čerpadlo-vedenie-tryska [1]

1-držiak trysky, 2-spaľovacia komora motora, 3-čerpadlo, 4-vačkový hriadel', 5-tlakové uchytienie, 6-vysokotlakové vedenie, 7-elektromagnetický ventil, 8-vratná pružina, 9-zdvíhacia kladka

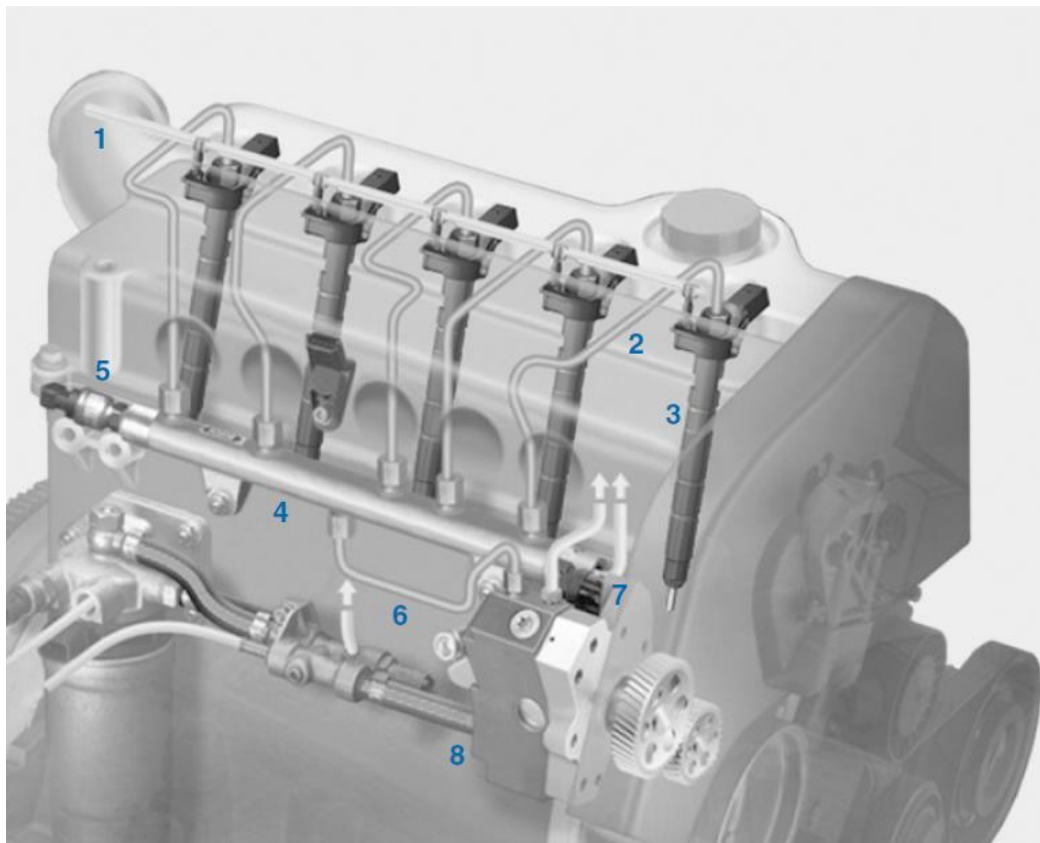
Tryska je v systéme čerpadlo-vedenie-tryska zavedená prostredníctvom držiaka v hlave valca, ktorý je v systémoch UIS integrovaný priamo vo vstrekovači. Čerpadlo je uložené zboku bloku motora a poháňané priamo vstrekovacou vačkou na vačkovom hriadeli prostredníctvom zdvíhacej kladky. To poskytuje nasledujúce výhody oproti systémom čerpadlo-tryska :

- nie je potrebná iná konštrukcia hlavy valcu
- tuhý pohon, nie sú potrebné žiadne vahadlá
- jednoduchá manuálna manipulácia s čerpadlami

Na rozdiel od UIS systémov, vysokotlakové rozvody sú zavedené medzi vysokotlakovým čerpadlom a tryskou. Tieto rozvody musia permanentne zvládať maximálny tlak a vysokofrekvenčné tlakové fluktuácie, ktoré vznikajú počas vstrekovania. Používajú sa hlbokoťažné bezšvové rúrky. Potrubia sú konštruované čo najkratšie a musia mať identickú dĺžku pre každé čerpadlo motora. [1]

2.3 Systém Common rail

Požiadavky kladené na systémy vstrekovania paliva vznetrových motorov sa neustále zvyšujú. Vyšší tlak, kratšie spínacie intervaly a variabilita prietokovej krivky v operačnom stave, spravili vznetrový motor ekonomickým, čistým a výkonným.



Obr.14 Palivový systém Common rail [1]

1-spätné potrubie paliva, 2-vysokotlakové potrubie s palivom k jednotlivým vstrekačom, 3-vstrekač, 4-spoločné potrubie s palivom, 5-senzor tlaku v potrubí, 6-vysokotlakové napájanie spoločného potrubia, 7-spätné palivové potrubie, 8-vysokotlakové čerpadlo

Common rail je pokrokový systém vstrekovania paliva. Hlavnou výhodou tohto systému je možnosť regulovať vstrekovací tlak a načasovanie v celej sústave. Toto bolo dosiahnuté separáciou kompresoru od systému vstrekovania paliva. Potrubie tu slúži ako akumulátor tlaku. Systém je veľmi flexibilný z hľadiska vstrekovania paliva do motoru vďaka nasledujúcim faktorom :

- vysoký vstrekovací tlak až 3000 barov
- variabilný začiatok vstrekovania
- možnosť viacerých predvstrekov a sekundárnych vstrekov

Týmto spôsobom umožňuje Common rail zvýšiť výkon, znížiť spotrebu paliva, redukovat' hluk a znížiť emisie vznetrových motorov. V súčasnosti je Common rail najpoužívanější systém vstrekovania paliva pre moderné vozidlá s motormi s priamym systémom vstrekovania.

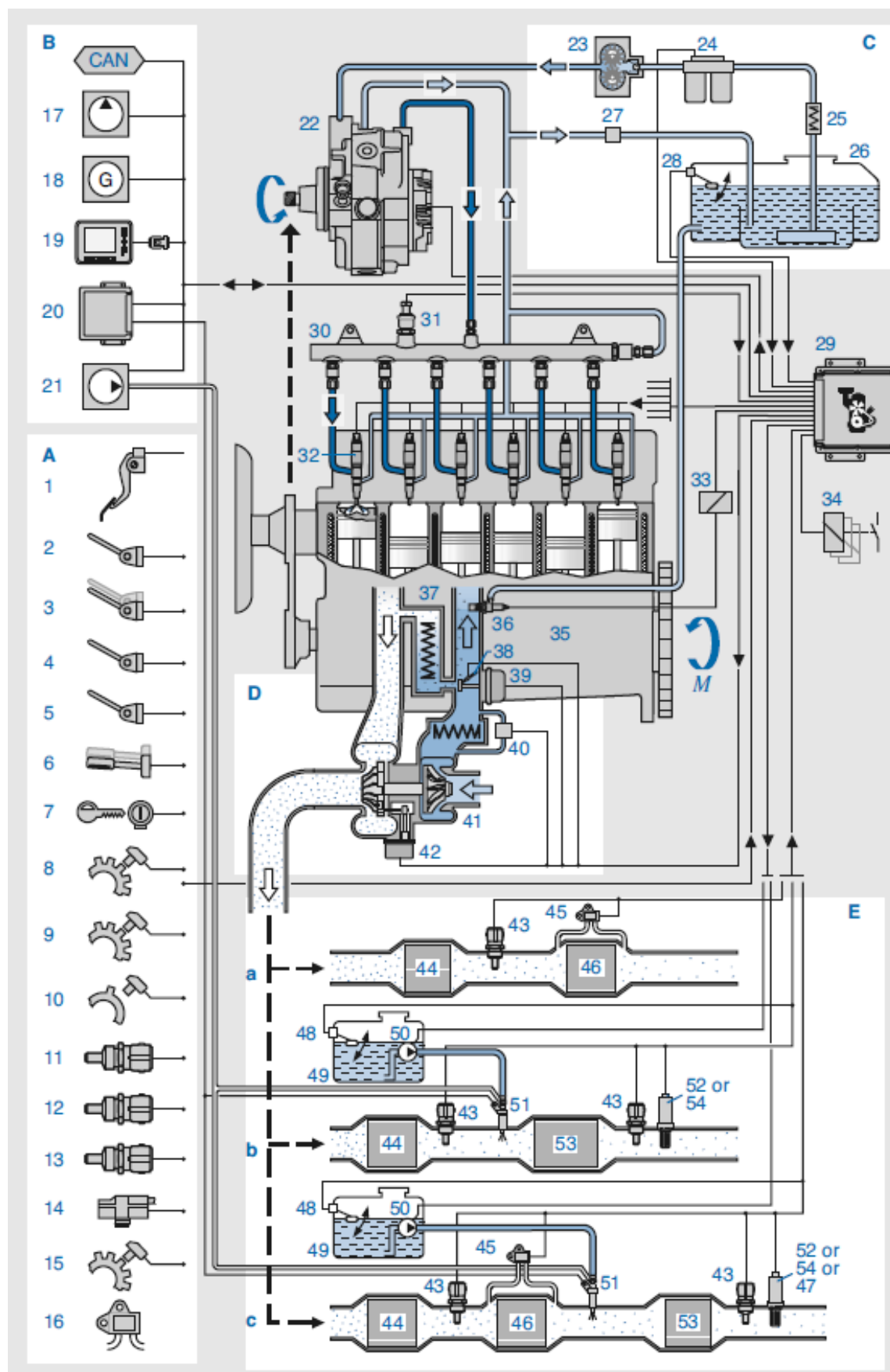
System Common rail pozostáva z nasledujúcich hlavných skupín komponentov.

- Nízkotlaková sústava pozostávajúca z komponentov dodávajúcich palivo
- Vysokotlakový systém zložený z častí ako vysokotlakové čerpadlo, palivové potrubie, vstrekovače a vysokotlakové palivové rozvody
- EDC (Electronic diesel control), pozostávajúca zo systémových modulov ako senzory, elektronická riadiaca jednotka a akčné členy

Kľúčové komponenty systému sú vstrekovače. Sú vybavené citlivým ventilom (elektromagnetický ventil alebo piezo aktivátorom), ktorý otvára a zatvára trysku. To umožňuje kontrolu vstrekovacieho procesu pre každý valec.

Všetky vstrekovače sú napájané spoločným palivovým potrubím, z čoho vznikol samotný názov systému.

Jednou z hlavných vlastností Common railu je, že tlak systému je variabilný v závislosti na operačnom bode motoru. Tlak je regulovaný ventilom na kontrolu tlaku alebo meracou jednotkou. [1]



Obr. 15 Palivový systém Common rail v užitkových vozidlech [1]

Rozdelenie súčiastok :

A-Oblasť snímačov a čidiel, B-rozhranie, C-palivový systém, D-Zásobovanie vzduchom, E-Upravovanie výfukových plynov

1-snímač polohy plynového pedálu	29-ECU motora
2-snímač spojky	30-potrubie paliva
3-kontakty na brzdách	31-snímač tlaku v potrubí
4-kontakt brzdy motora	32-vstrekovač
5-kontakt parkovacej brzdy	33-relé
6-snímač rýchlosti jazdy	34-pomocné zariadenia
7-spínač štartéra	35-vznetový motor
8-snímač otáčok turbodúchadla	36-sviečka
9-snímač otáčok kľukového hriadeľa	37-chladič recirkulovaných výfukových plynov
10-snímač otáčok vačkového hriadeľa	38-ovládacia klapka
11-snímač teploty paliva	39-regulátor výfukových plynov
12-snímač teploty motora	40-medzichladič
13-snímač teploty plniaceho vzduchu	41-turbodúchadlo
14-snímač plniaceho tlaku	42-regulátor plniaceho tlaku
15-snímač rýchlosti otáčok chladiča	43-snímač teploty výfukových plynov
16-snímač rozdielu tlaku vzduchového filtra	44-oxydačný katalyzátor
17-kompresor klimatizácie	45-snímač rozdielu tlaku
18-alternátor	46-filter pevných častí
19-diagnostické rozhranie	47-snímač sadzí
20-riadiaca jednotka SCR	48-snímač hladiny
21-kompresor	49-redukčná nádrž
22-vysokotlakové čerpadlo	50-redukčné čerpadlo
23-palivové čerpadlo	51-redukčný vstrekovač

24-palivový filter so snímačmi hladiny a tlaku

25-chladič kontrolnej jednotky

26-palivová nádrž s filtrom

27-pretlakový ventil

28-snímač hladiny paliva

52-snímač NO_x

53-SCR katalyzátor

54-snímač NH_3

M -krútiaci moment

3 ELEKTRONICKÉ RIADENIE VZNETOVÝCH MOTOROV (EDC)

Elektronické riadenie vznetových motorov umožňuje prispôsobenie parametrov vstrekovania paliva presne podľa požadovaných podmienok. Toto je jediný spôsob ako môže moderný vznetový motor uspokojiť množstvo požiadaviek, ktoré sú naň kladené. EDC je rozdelené do troch oblastí :

- senzory a usmerňovače
- riadiaca jednotka (ECU)
- akčné členy

3.1 Požiadavky

Súčasný rozvoj v oblasti technológie vznetových motorov je zameraný na znižovanie spotreby paliva a emisných výfukových plynov (NO_x , CO, HC), za zvyšovania výkonu a krútiaceho momentu. V posledných rokoch táto snaha viedla k zvýšeniu používania priameho vstrekovania, ktoré využíva omnoho vyšší vstrekovací tlak paliva ako systémy s nepriamym vstrekovaním s vírovou alebo predspaľovacou komorou. V dôsledku efektívnejšieho zloženia zmesi a absencie strát spôsobených prúdením medzi komorami a hlavnou spaľovacou komorou, je spotreba paliva v priamych vstrekovacích systémoch o 10-20% nižšia ako v systémoch s nepriamym vstrekovaním paliva.

Vývoj vznetových motorov bol ovplyvnený vysokými nárokmi na komfort a pohodlie v moderných automobiloch. Striktné nároky sú taktiež kladené na hluk motora.

V dôsledku toho sa zvýšil výkon a zlepšili riadiace systémy motora, umožnili to hlavne nasledujúce faktory :

- vysoký tlak vstrekovaného paliva
- kontrola nad rýchlosťou plnenia
- predvstrekovanie a kde je to aplikovateľné, sekundárne vstrekovanie
- prispôsobenie množstva vstrekovaného paliva, tlak plniaceho vzduchu, začiatok vstrekovania podľa operačných podmienok
- teplota ovplyvňuje množstvo paliva pri štarte
- kontrola rýchlosti nezávislá na zaťažení motora
- kontrola recirkulácie výfukových plynov
- tempomat
- malé tolerancie na vstrekovací čas, množstvo vstrekovaného paliva a precízna údržbu počas fungovania systému

3.2 Elektronická riadiaca jednotka (ECU)

Digitálne technológie poskytujú rozsiahle pole možností otvorených a zatvorených elektronických automobilových systémov. Veľké množstvo parametrov môže byť použitých na podporu optimalizácie procesov jednotlivých systémov. Po dodaní elektrického signálu

preneseného senzormi, procesor kontrolnej jednotky spracuje tieto dáta za účelom generovania kontrolných signálov pre akčné členy. Kontrolný program, „software“ je uložený v špeciálnej pamäti a implementovaný mikrokontrolérom. Kontrolná jednotka a jej komponenty sú považované za „hardware“. Kontrolná jednotka systému kontroly vznetového motora pozostáva z algoritmov pre otvorené a zatvorené slučky potrebné na delegovanie systému riadenia motora. [1]

3.2.1 Operačné podmienky

ECU je podrobená vysokým požiadavkám v závislosti na :

- extrémne okolité teploty (od -40°C do +60°C...+120°C)
- prudké teplotné fluktuácie
- odolnosť na materiály ako olej a palivo
- okolitá vlhkosť
- mechanické napätie, vibrácie motora atď.

Elektronická riadiaca jednotka musí pracovať bezchybne aj počas štartu so slabou batériou (studený štart atď.) rovnako ako pri vysokom napájacom napätí.

Ostatné požiadavky vyplývajú z potreby EMC (elektromagnetickej kompatibility). Štandardná odolnosť proti elektromagnetickému rušeniu a obmedzenie emisií vysokofrekvenčných rušivých signálov sú veľmi prísne. [1]

3.2.2 Konštrukcia

Elektrická doska s elektronickými komponentmi je umiestnená v ochrannom obale, spojená so senzormi, akčnými členmi a zdrojom energie cez multipólový konektor. Vysokovýkonné ovládače pre priame spúšťanie akčných členov sú integrované v obale jednotky spôsobom, aby bol zabezpečený rozptyl tepla.

Keď je jednotka namontovaná priamo v motore, integrovaný chladič je použitý na rozptýlenie tepla z obalu ECU do paliva, ktoré pravidelne oplachuje ECU. Tento chladič je použitý len v úžitkových vozidlách. Kompaktné ECU s hybridnou technológiou, ktoré sú montované v motore sú použiteľné aj za vyššieho zaťaženia teplotou.

Väčšina elektronických komponentov používa technológiu SMD (montované na povrchu), takže môžu byť konštruované obzvlášť úsporne na priestor a hmotnosť. Tradičná kabeláž sa používa len pri niektorých elektronických komponentoch a v napájaní. [1]

3.2.3 Vstupné signály

Úlohou okrajových komponentov, akčných členov a senzorov je prenos dát medzi vozidlom a ECU. Elektrické signály zo senzorov putujú cez káblové zväzky a napájanie až k jednotke.

Tieto signály môžu byť nasledujúcich druhov :

- Analógové vstupné signály
V danom rozsahu môže analógový vstup prevziať akékoľvek napätie. Príklady fyzikálnych veličín, ktoré sú merané analógovo sú množstvo nasávaného vzduchu, napätie batérie, nasávanie a tlak v potrubí, teplota chladiacej kvapaliny a nasávaného

vzduchu. Prevodník medzi analógovým a digitálnym signálom v mikroprocesory kontrolnej jednotky transformuje dáta do digitálnej podoby, ktorá je požadovaná centrálnou procesnou jednotkou mikrokontroléra. Maximálne rozlíšenie týchto analógových signálov je 5mV. To sa premieňa do približne 1000 prírastkových stupňov na základe celkového rozsahu monitorovania 0...5V.

- Digitálne vstupné signály

Digitálne vstupné signály majú len dve fázy. Sú buď „vysoké“ alebo „nízke“ (respektíve 1 a 0). Príklady digitálnych vstupných signálov sú vypnuté/zapnuté spínacie signály alebo signály ako rotačná rýchlosť impulzov z Hallovho generátoru, alebo magnetorezistívny senzor. Takéto signály sú spracované priamo mikrokontrolérom.

- Impulzné signály

Impulzné signály z indukčných senzorov obsahujú informácie o rýchlosti rotácie sú uložené vo vlastnej časti ECU. Tu sú falošné impulzy potlačené a impulzný signál premenený na digitálny pravouhlý signál. [1]

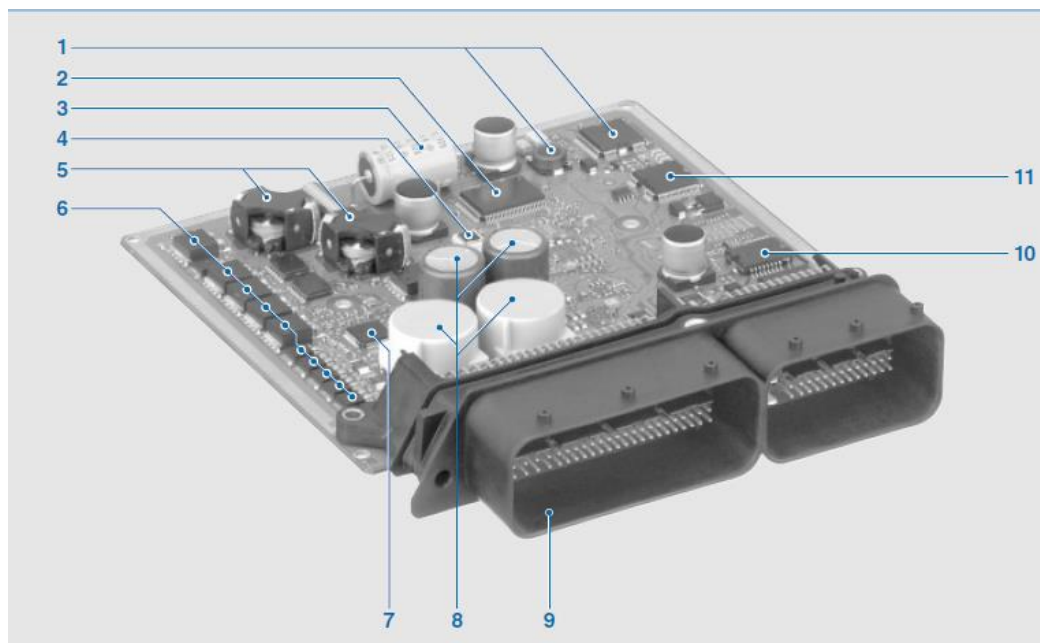
3.2.4 Podmieňovanie signálu

Ochranné obvody sa používajú na ohraničenie prichádzajúceho signálu na prístupné maximálne napätie. Aplikovaním filtračných techník sú rušivé signály do veľkej miery odstránené zo spektra užitočných signálov, ktoré sú následne v prípade potreby zosilnené na prístupné vstupné signálové úrovne pre mikrokontrolér (0...5V).

Podmieňovanie signálu v senzore sa môže diať úplne alebo čiastočne, v závislosti na úrovni integrácie samotného senzora. [1]

3.2.5 Spracovanie signálu

Kontrolná jednotka je prepínacie centrum riadiace všetky funkcie a sekvencie regulované riadiacim systémom motora. Funkcie zatvorených a otvorených slučiek sú riadené mikrokontrolérom. Vstupné signály zo senzorov a pripojených systémov slúžia ako vstupné parametre, ktoré sú podrobené kontrole dôveryhodnosti v počítači. Program kontrolnej jednotky podporuje generovanie výstupných signálov používaných na kontrolu akčných členov. [1]



Obr.16 Konštrukcia ECU pre systémy common rail [1]

1-napájanie so stabilizáciou napätia, 2-prepisovateľná pamäť, 3-záložný kondenzátor batérie, 4-snímač atmosférického tlaku, 5-napájanie vysokého napätia, 6-výkonové moduly pre riadenie vstrekovacích ventilov, 7-obvod pre časové a uhlové fázovanie výkonových modulov, 8-vysoké napätie, 9-konektor, 10-výkonový modul pre ovládanie jednosmerných motorov, 11-modul pre spínanie elektromagnetických ventilov

3.2.6 Výstupné signály

S výstupnými signálmi mikrokontrolér spúšťa výkonové moduly, ktoré sú zvyčajne dosť silné na priame riadenie akčných členov. Pre špecifické moduly je taktiež možné spúšťať relé pre obzvlášť veľkých spotrebiteľov energie (napr. ventilátory motoru).

Výkonové moduly sú prevencia proti skratom do zeme alebo napätím batérie, rovnako ako proti poškodeniu v dôsledku elektrického alebo tepelného preťaženia. Takéto poruchy, spolu s otvorenými okruhmi vedenia alebo zlyhaniaми senzorov sú identifikované výkonovými modulmi ako chyba a oznámené mikrokontroléru. [1]

4 ELEKTRONICKÉ RIADIACE JEDNOTKY

4.1 MS 25 Sport BOSCH



Obr.17 MS 25 Sport BOSCH [6]

4.1.1 Popis výrobcu

MS 25 Sport je ECU pre dieselové motory s až 8 valcami. Je vyvinutý pre použitie s elektromagnetickými vstrekovačmi Bosch. MS 25 Sport využíva proces vývoja softvéru na báze MATLAB® & Simulink®.

MS 25 Sport je schopný pracovať v 12 V alebo 24 V systémoch. Základný SW je schopný ovládať jednu konfiguráciu hydraulikkej banky (jedno čerpadlo a jeden tlakový rail) s jednotkou dávkovania paliva (FMU) a regulačným ventilom tlaku (PCV). [6]

4.1.2 Technické parametre

Tab.1 Technické parametre MS 25 Sport Bosch [6][7][8]

Počet valcov motora	3,4,5,6,8
Vstrekovacie systémy	na elektromagnetickej báze
Časovanie vstrekovania	2 predvstreky/1 hlavný/2 postvstreky
Napájanie	12/24 V
Počet CAN zberníc	3
Počet analógových vstupov	29
Počet digitálnych vstupov	14
Rozsah pracovných teplôt	-40°C až 85°C
Rozmery	260x250x81 mm
Hmotnosť	1800 g
Cena	7500 €

4.2 Commander 6D Sybele



Obr.18 Commander 6D Sybele [9]

4.2.1 Popis výrobcu

Commander 6D je riadiaca jednotka vznetového motoru s veľmi vysokým výpočtovým výkonom, niekoľkými vstupmi a konfigurovateľnými výstupmi, umožňujúcimi flexibilné a efektívne použitie. Môže riadiť vstrekovače na piezoelektrickej alebo elektromagnetickej báze, Common rail alebo systémy čerpadlo-tryska.

Pre každý z týchto typov vstrekovania nafty je Commander6D ECU integrovaná v špecializovanej súprave.

Na jednom motore môže byť aplikovaných niekoľko ladení, napríklad pre rally raid alebo cestnú rally. Požadované ladenie môže byť zvolené počas chodu, pomocou rotátora alebo spínača na prístrojovej doske, čo v prípade potreby umožňuje zvýšenie výkonu motora. [9][10]

4.2.2 Technické parametre

Tab.2 Technické parametre Commander6D [9][10]

Počet valcov motora	1,2,3,4,5,6
Vstrekovacie systémy	common rail, UIS
Časovanie vstrekovania	2 predvstreky/1 hlavný/2 postvstreky
Napájanie	7-18 V
Počet CAN zberníc	2
Počet analógových vstupov	27
Rozsah pracovných teplôt	-40°C až 85°C
Cena	2300 €

4.3 ECU3 Liebherr



Obr.19 ECU3 Liebherr [11]

4.3.1 Popis výrobcu

Ako optimalizovaná riadiaca jednotka pre 6-valcové dieselové motory a mobilné plynové motory je ECU3 ideálny pre použitie v teréne aj mimo neho.

Rozhranie na priamu aktiváciu SCR alebo systému SCRFilter umožňuje kombinovanú reguláciu spracovania motora a výfukových plynov len jednou ECU3.

Riadiaca jednotka motora umožňuje plnenie rôznych emisných predpisov, napr. EU IV / V, Euro V / VI a EPA Tier 4f. Riadiaca jednotka je certifikovaná podľa predpisu ECE-R10 vozidla.

Vďaka kompaktnému púzdra si ECU3 vyžaduje málo priestoru na inštaláciu.

Integrované kvapalinové chladenie riadiacej jednotky zabezpečuje spoľahlivú a bezpečnú prevádzku aj v obmedzenom priestore s nízkym prútokom vzduchu a silnou tvorbou tepla.

Jednotka spĺňa funkčné bezpečnostné požiadavky funkčných reťazcov podľa medzinárodných bezpečnostných noriem.

ECU3 sa vyznačuje dlhou dostupnosťou a je osvedčená ako riadiaca jednotka mnohých motorov Liebherr na celom svete. [11]

4.3.2 Technické parametre

Tab.3 Technické parametre ECU3 [11][12]

Počet valcov motora	6
Vstrekovacie systémy	common rail
Napájanie	12/24 V
Počet CAN zberníc	3
Počet analógových vstupov	29
Počet digitálnych vstupov	12
Rozsah pracovných teplôt	-40°C až 85°C pri chladení vzduchom -40°C až 110°C pri chladení kvapalinou
Rozmery	244x220x54 mm
Hmotnosť	2500 g

4.4 M142 MoTeC



Obr.20 M142 MoTeC [13]

4.4.1 Popis výrobcu

ECU séria M1 začala novú éru v riadení motorov. Unikátna technológia M1 poskytuje možnosti prispôsobovania a ladenia, úplnú kontrolu a veľmi pokročilé bezpečnostné stratégie, čo z nej robí ideálnu pre obe kategórie, riadených a neriadených aplikácií.

M142 je ECU pre vznetové motory s priamym vstrekom, systémom Common rail, vznetové motory s turbodúchadlom, ale môže byť taktiež použitá v iných aplikáciách. Poskytuje úplnú kontrolu väčšiny moderných vysokotlakových vstrekovačov bez potreby zosilňovačov. [13][14]

4.4.2 Technické parametre

Tab.4 Technické parametre M142 [13][14]

Počet valcov motora	1-8
Vstegovacie systémy	common rail
Počet CAN zberníc	3
Počet analógových vstupov	23
Počet digitálnych vstupov	16
Rozmery	162x128x41 mm
Hmotnosť	480 g
Cena	4000 €

4.5 Nira i7r



Obr.21 Nira i7r [15]

4.5.1 Popis výrobcu

NIRA i7r je výkonná kontrolná jednotka konštruovaná na riadenie moderných vznetových motorov s efektívnou technológiou Common rail. Súčasťou kontrolnej jednotky je kalibračný software, NIRA rk, pre ladenie dát z motoru, upravovanie parametrov a monitorovanie. Spolu tak tvoria systém, ktorý umožňuje užívateľovi plnú kontrolu a prístup k funkciám motoru.

S podporou pokročilých stratégií vstrekovania paliva s viacnásobným vstrekom na zdvih, NIRA i7r umožňuje ladením motora dosiahnuť maximálny výkon zatiaľ čo zachováva želané charakteristiky, ako napríklad rýchla odozva motora a precízna kontrola krútiaceho momentu. NIRA i7r je taktiež konštruovaná pre spoluprácu so senzormi a akčnými členmi zabezpečujúcimi dodržanie noriem EURO V a Tier 4, vrátane EGR a filtrov pevných častíc. [15]

4.5.2 Technické parametre

Tab.5 Technické parametre Nira i7r [15]

Počet valcov motora	1-8
Vstegovacie systémy	common rail
Napájanie	12V
Počet CAN zberníc	2
Počet analógových vstupov	29
Cena	3000 €

ZÁVER

Náplňou tejto bakalárskej práce bolo priblížiť problematiku spojenú so vznetovými spaľovacími motormi, palivovými systémami a riadiacou jednotkou motora.

V súčasnosti sú vznetové motory nenahraditeľnou alternatívou v priemyselných aplikáciách, pri úžitkových a nákladných vozidlách ako aj obľúbených modeloch osobných automobilov, najmä v Európe. V drvinej väčšine aplikácií sa používa na rozvod a vstrekovanie paliva systém Common rail. Postupne nahradzuje ostatné palivové systémy vo všetkých aplikáciách a som presvedčený, že tento trend je opodstatnený. Pri skúmaní jeho výhod je zrejmé prečo je tomu tak. Separácia tvorby vysokého tlaku a vstrekovania, kontrola nad načasovaním vstrekovania, možnosti primárnych a sekundárnych vstrekov, eliminácia rozdielov medzi jednotlivými valcami a lepšia tvorba vstrekovacej zmesi sú len niekoľkými výhodami, ktoré vedú k vyššej efektívnosti spaľovacieho procesu, vďaka ktorému je získaný väčší krútiaci moment a prirodzene aj samotný výkon. Navyše je redukované množstvo emisií, hluku, vibrácií a tým splňanie najprísnejších aktuálnych noriem.

Podľa môjho názoru, budú najbližšie roky patriť práve rozširovaniu aplikácií tohto systému, rovnako nahradzovaniu konzervatívnejších palivových systémov. Zároveň si ale myslím, že je stále možné systém vylepšovať. Najmä v záujme zvyšovania efektivity a znižovania emisií. Napríklad prostredníctvom vyššieho vstrekovacieho tlaku, ku ktorému sú potrebné konštrukcie z najkvalitnejších materiálov, ktoré bude taktiež potrebné zdokonaľiť. Rovnako tak aj lepšie načasovanie a regulácia vstrekov či precíznejšie a jemnejšie rozprašovanie paliva. O krok ďalej je aj aplikácia elektrického pohonu za vzniku hybridných dieslových motorov, ktoré nám už v súčasnosti ukazujú cestu, ktorou sa vydať. Spoločnou snahou by malo byť neustále sa približovať cieľu ekologickej a ekonomickej prevádzky vznetových motorov.

Palivový systém, ale nie je to jediné, čo je potrebné k efektívnemu riadeniu procesov v motore. Celý systém je závislý na elektronickej riadiacej jednotke. Myslím si, že v tejto oblasti je značný priestor na zlepšenie prostredníctvom vyššieho výpočtového výkonu, efektívnejšej separácie potrebných údajov a rozšírenia možnosti upravovať software. Taktiež je žiadúce aby riadiaca jednotka, v čo najväčšej miere optimalizovala proces vstrekovania paliva v závislosti na jazdných podmienkach vozidla, kde sa môže dosiahnuť jeho značná úspora.

V priebehu mapovania trhu súčasných elektronických riadiacich jednotiek som zistil, že vo väčšine prípadov sú aplikované v konkrétnych modeloch vozidiel a ich funkciu a parametre si prispôsobuje samotný výrobca. Samostatne dostupných elektronických kontrolných jednotiek teda na trhu veľa nie je. Vybral som niekoľko modelov, ktoré sa dajú pokladať za spoľahlivé vzhľadom na ich výrobcu a dostupné informácie. Najväčšou pridanou hodnotou týchto jednotiek teda je, že sú pre nás dostupné, znamená to, že ich môžeme použiť vo vlastných aplikáciách. Niektoré z nich navyše obsahujú software, ktorý je aj voľne dostupný a môžeme ho upravovať podľa našich predstáv. Všetky z nich sú konštruované na riadenie aj 6-valcových vznetových motorov.

MS 25 Sport Bosch, je ECU vyvinutá predovšetkým na spoluprácu s palivovými systémami Bosch na elektromagnetickej báze. Z dostupných informácií vyplýva, že je najviac používaná na aplikácie do závodných vozidiel, čomu sú prispôsobené jej funkcie a parametre. Jej cena zodpovedá aplikáciám, v ktorých sa vyskytuje a jej použitie nebude z tohto hľadiska optimálne pre bežné automobily.

Commander 6D Skynam, je séria ECU, ktorá je kompatibilná s viacerými palivovými systémami. Jednotlivé sety dokážu spolupracovať so systémami Common rail na piezo alebo elektromagnetickej báze, ako aj so systémami UIS. To ma privádza k záveru, že aplikovateľnosť tejto jednotky je dosť široká, výrobca navyše udáva možnosť ladenia a prispôsobenia, čo je pre konštruktérov najväčšia výhoda. Cena samostatnej jednotky ako aj cena jednotky spolu s príslušenstvom na riadenie jednotlivých druhov palivových systémov patrí medzi najpriateľnejšie na trhu.

ECU3 Liebherr je ECU používaná v nákladných vozidlách a iných pozemných strojoch tejto firmy. Jej aplikácia je v tomto prípade zrejmá, zameraná na potreby konkrétnych strojov firmy Liebherr.

M142 MoTeC je jedna zo série M1 tejto firmy, ktoré obsluhujú široké spektrum vozidiel. Jednotlivé ECU spolupracujú s rôznymi modelmi automobilov a úžitkových vozidiel viacerých svetových výrobcov. M142 sa konkrétne zameriava na systémy s priamym vstrekaním Common rail, s možnosťou ladenia a prispôsobovania. Prijateľná cena a viacero voľne dostupných ladiacich programov z nej robí vhodnú na aplikáciu v osobných, závodných a úžitkových vozidlách.

Nira i7r, je starší model ECU, ktorý je na trhu už dostupný istú dobu. Rovnako ako predchádzajúce riadiace jednotky spolupracuje so systémom Common rail. Jej kalibračný systém umožňujúci ladenie a prispôsobovanie poskytuje plnú kontrolu nad systémom. Spolu s relatívne nízkou cenou to z nej môže robiť stále zaujímavú alternatívu pre aplikáciu v osobných či závodných automobiloch.

Výsledky prieskumu samostatne dostupných elektronických jednotiek sú taktiež len potvrdzujúcimi faktami súčasného trendu rozsiahlej aplikácie palivového systému Common rail.

POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] REIF, Konrad. *Diesel Engine Management* [online]. 1. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014 [cit. 2019-05-19]. ISBN 978-3-658-03981-3. Dostupné z: <https://www.springer.com/gp/book/9783658039806#>
- [2] Diesel engine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine#Fuel_injection
- [3] Early History of the Diesel Engine. *Dieselnets* [online]. USA: EcoPoint, 2013 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.dieselnets.com/tech/diesel_history.php
- [4] A milestone in mobility: MAN drove the first truck with diesel direct injection 90 years ago. *Automotiveworld* [online]. United Kingdom: Automotive World, 2014 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.automotiveworld.com/news-releases/milestone-mobility-man-drove-first-truck-diesel-direct-injection-90-years-ago/>
- [5] 75 Years of Diesel Injection by Bosch. *MTZ worldwide* [online]. 2003, 1(1), 6-8 [cit. 2019-05-19]. ISSN 2192-9114. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03228019>
- [6] Engine Control Unit MS 25 Sport. *Bosch-motorsport* [online]. Gerlingen-Schillerhöhe: Bosch, 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Raceparts/en-GB/49061131111869835.html#/Tabs=49118347/>
- [7] Engine Control Unit MS 25 Sport Data Sheet. *Bosch-motorsport* [online]. Gerlingen-Schillerhöhe: Bosch, 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Raceparts/en-GB/49061131111869835.html#/Tabs=49118347/>
- [8] Engine Control Unit MS 25 Sport Operation Manual. *Bosch-motorsport* [online]. Gerlingen-Schillerhöhe: Bosch, 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Raceparts/en-GB/49061131111869835.html#/Tabs=49118347/>
- [9] Commander 6D. *Skynam* [online]. Mazy: Skynam, 2015 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: http://www.skynam.com/product.php?id_product=78
- [10] General presentation of Commander 6D. *Skynam* [online]. Mazy: Skynam, 2015 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: http://www.skynam.com/product.php?id_product=78
- [11] ECU3. *Liebherr* [online]. Bulle: Liebherr, 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/cze/products/components/injection-systems/engine-control-units/details/ecu3.html>
- [12] Short Description - ECU3. *Liebherr* [online]. Bulle: Liebherr, 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/cze/products/components/injection-systems/engine-control-units/details/ecu3.html>

- [13] MoTeC M142. *Motorsportelectronics* [online]. Palos Verdes Estates: Motec, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.motorsportelectronics.com/products/motec-m142?variant=12340976516>
- [14] M1 GPR Diesel Package. *Moteonline* [online]. Palos Verdes Estates: Motec, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://moteonline.motec.com.au/Package/ViewPackage?PackageId=827&BackURL=https%3A%2F%2Fmoteonline.motec.com.au%2FPackage>
- [15] Nira i7r. *Nira* [online]. Enebyberg: Nira, 2011 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: http://www.nira.se/NIRA_i7r.pdf